

Cartografía de dominios litosféricos y estilo de deformación en el margen continental de Galicia (margen noroeste de la Península Ibérica)

Lithospheric domain and deformation style mapping in the Galicia continental margin (northwestern Iberian margin)

M. Druet¹, A. Muñoz^{2,5}, J.L. Granja-Bruña², A. Carbó-Gorosabel², J. Acosta³, P. Llanes² y G. Ercilla⁴

1 Instituto Geológico y Minero de España. C/ La Calera 1, Tres Cantos, 28760 Madrid. m.druet@igme.es

2 Grupo de Tectonofísica Aplicada. Dpto. Geodinámica, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid

3 Instituto Español de Oceanografía. C/ Corazón de María 8, 28002 Madrid

4 Institut de Ciències del Mar. Passeig Marítim de la Barceloneta 37-49, 08003 Barcelona

5 Instituto de Geociencias (UCM-CSIC). 28040 Madrid.

Resumen: El margen continental de Galicia presenta una estructura muy compleja, debido a dos efectos principales. Por un lado, se trata de un margen de *rift* pobre en magma, generado en las proximidades del punto triple R-R-R que dio lugar a la apertura simultánea del Océano Atlántico y el golfo de Vizcaya durante el Cretácico. Por otra parte, el régimen de esfuerzos compresivo Cenozoico generó la inversión parcial del margen continental hacia el norte y el noroeste, aportando una mayor complejidad estructural. En este trabajo hemos realizado un análisis detallado de la nueva información gravimétrica y batimétrica obtenida durante las campañas del Proyecto ZEE, así como de nuevos perfiles de sísmica de reflexión multicanal procedentes del Proyecto ERGAP. Presentamos aquí parte de los resultados de este análisis conjunto de toda la información geofísica y geológica disponible, consistentes en una cartografía continua de los diferentes dominios litosféricos y del tipo de deformación que los afectan, desde el margen oeste de la Península Ibérica hasta el margen norte.

Palabras clave: margen continental, Galicia, *rift*, gravimetría, tectónica.

Abstract: The continental margin of Galicia presents a very complex structure, due to two main effects. On the one hand, it's a magma-poor rift margin, generated in the vicinity of the triple R-R-R junction, which resulted in the simultaneous opening of the Atlantic Ocean and the Bay of Biscay during the Cretaceous. On the other hand, the Cenozoic compressive stress regime led to the partial inversion of the continental margin to the north and northwest, providing a greater structural complexity. In this work we have carried out a detailed analysis of new gravity and bathymetry data acquired during the ZEE Project cruises, as well as new 2D multichannel seismic reflection profiles from the ERGAP Project. We present here some the results of this joint analysis of all the geophysical and geological information available, consisting of a continuous mapping of the different lithospheric domains and of the style of deformation which affect them, from the western margin of the Iberian Peninsula to the northern one.

Key words: continental margin, Galicia, rift, gravity, tectonics.

INTRODUCCIÓN

El margen continental de Galicia se clasifica como un margen de *rift* pobre en magma. Este tipo de márgenes presentan como rasgo común una zona de basamento compuesto por manto serpentinizado entre la corteza continental adelgazada y la corteza oceánica normal. La estructura del margen gallego es muy compleja, reflejando la superposición de varias etapas sucesivas de *rift*, y una compresión posterior que da lugar a la inversión parcial del margen. Además, la proximidad de un punto triple de dorsal produce un cambio de orientación de las estructuras principales. Este margen continental ha sido ampliamente estudiado desde los '70, pero la mayoría de los estudios se han centrado en su sector occidental, existiendo una importante carencia de información en los flancos norte

y noroeste. Este hecho, junto con su gran complejidad estructural, ha provocado que no exista un modelo geodinámico previo que integre todos los procesos observados. Algunos aspectos, como son la transición entre el margen oeste (extensional) y el margen norte (compresivo), y la forma en que se produce su inversión tectónica, apenas han sido abordados con anterioridad por la comunidad científica.

METODOLOGÍA

En este trabajo se han empleado datos gravimétricos y batimétricos del Proyecto ZEE (Figura 1A). La información gravimétrica ha sido procesada y corregida, incluyendo la corrección del fondo oceánico para el cálculo de la anomalía de Bouguer completa (AB) (Figura 1B). De forma complementaria, se ha dispuesto de varios perfiles sísmicos multicanal,

obtenidos en el marco del Proyecto ERGAP (Figura 1A). Estas secciones sísmicas, junto con la información disponible de la profundidad de la Moho (Reguzzioni y Sampietro, 2015), han permitido construir varios modelos gravimétricos transversales a las estructuras principales a lo largo del todo el margen (p. ej., Figura 2). El análisis gravimétrico ha incluido, entre otros procesos, el análisis espectral y la aplicación de filtros de frecuencia, para aislar distintos grupos de anomalías según su origen (Figura 1C).

RESULTADOS

Dominios litosféricos

Hemos identificado los siguientes dominios litosféricos, atendiendo a la afinidad del basamento que se encuentra en cada zona. En la litosfera continental, se ha diferenciado también *grosso modo* por el grado de afectación de la deformación tectónica que da origen al margen continental.

Litosfera continental normal

El basamento es de tipo corteza continental, con la Moho a una profundidad mínima de 28 km. Este dominio se encuentra poco afectado por la tectónica extensional que originó el margen en el Mesozoico. Se localiza en la región emergida y la plataforma continental. Los valores de AB que en esta zona son típicamente inferiores a 90 mGal (Figura 2B).

Litosfera continental adelgazada

El basamento está compuesto por corteza continental, y/o por manto serpentizado de afinidad continental en la parte distal. Este dominio se encuentra afectado en mayor o menor medida por la tectónica extensional que originó el margen. Abarca el talud continental y parte de la llanura abisal de Iberia (Figura 1A). Los valores de AB son de 90-350 mGal (Figura 1B). En la cuenca Interior de Galicia y en el margen profundo de Galicia y parte de la llanura abisal de Iberia, la deformación extensional ha producido un ascenso local del manto, asociado con una AB positiva de longitud de onda media (Figura 1C) (Druet, 2015).

Litosfera oceánica

El basamento es de tipo oceánico. Se localiza en las llanuras abisales de Vizcaya y de Iberia, pero también en la parte inferior del talud continental. Los valores de AB son variables y dependen de la deformación de la litosfera y de la presencia de zonas donde el espesor de sedimento acumulado es grande. En general los valores de AB están por encima de 300 mGal, pero en algunas localizaciones, como al norte de la cuenca Interior de Galicia y al noroeste de Galicia, son atípicamente menores, hasta por debajo de 200 mGal (Figura 1B).

Dominios de deformación

Sobre los dominios litosféricos descritos, hemos delimitado varias regiones donde se identifican procesos de deformación específicos. El límite entre estos dominios es bastante difuso en ocasiones, y

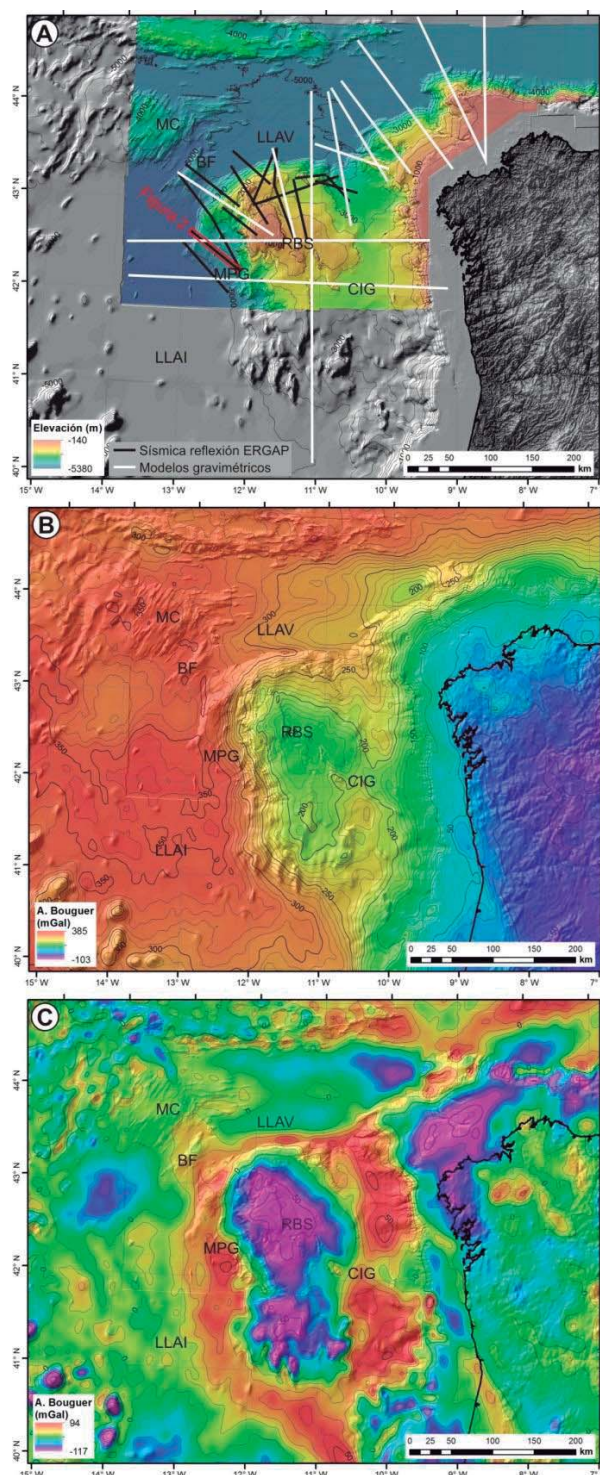


FIGURA 1. A) Modelo digital de elevaciones (MDE) de la zona de estudio. En color, el área de levantamiento batimétrico multihaz (Proyecto ZEE), orlado por el modelo de sombras calculado a partir de los datos batimétricos del Atlas Digital GEBCO (en mar) y de los datos SRTM (en tierra). Iluminación desde el noroeste. En rojo, perfil sísmico de la Figura 2. B) Anomalia de Bouguer completa (AB) (color) superpuesta al modelo de sombras calculado a partir del MDE de la zona de estudio. C) Anomalia de Bouguer de longitud de onda media (en color, $145 \text{ km} > \lambda > 33 \text{ km}$), asociada a fuentes de la corteza inferior y media, superpuesta al modelo de sombras calculado a partir del MDE de la zona de estudio. LLAI, llanura abisal de Iberia. MPG, margen profundo de Galicia. RBS, región de bancos submarinos. CIG, cuenca Interior de Galicia. MC, montes de Coruña. BF, banco de Finisterre. LLAV, llanura abisal de Vizcaya.

encontramos zonas con superposición de dominios (Figura 3):

Dominio de necking

Hay un *necking* de la corteza continental cuando el techo del basamento y el techo del manto no se mantienen más o menos paralelos, sino que tienden a converger mar adentro. La deformación de la corteza se produce de forma desacoplada (frágil en la parte superior y dúctil en la parte inferior) y bajo un régimen de cizalla pura (Sutra *et al.*, 2013). El límite distal lo marca el punto de acoplamiento de la deformación. Para la localización de los límites de este dominio se han tenido en cuenta los perfiles sísmicos disponibles y los modelos gravimétricos realizados (Druet, 2015). En la parte distal del margen oeste se observa una correlación con los gradientes gravimétricos de AB (Figura 2B). Hacia el margen norte, la deformación compresiva no permite identificar dónde se localiza originalmente el límite distal de este dominio. En esta zona, consideramos que este dominio se corresponde aproximadamente con el talud continental y al menos parte de la zona de las plataformas marginales al noroeste de Galicia, y que su límite distal coincide con el comienzo de la litosfera oceánica. En la región de la cuenca Interior de Galicia se observa un gran adelgazamiento de la corteza continental, relacionado con la deformación durante los primeros estadios del proceso de *rift* (Berriasiense-Valanginiense) (Jansa *et al.*, 1988; Murillas *et al.*, 1990). Consideramos esta zona como el dominio de *necking* relacionado con esa fase de *rift* inicial y que, al trasladarse la zona de deformación extensiva más hacia el oeste durante el Hauteriviense-Aptiense, quedó fosilizada sin progresar hasta la hiperextensión. Este *necking* de la corteza continental en la cuenca Interior de Galicia genera un ascenso de manto litosférico, que se encuentra a menos de 18 km de profundidad (Pérez-Gussinyé *et al.*, 2003; Druet, 2015), y tiene un reflejo gravimétrico en forma de AB de longitud de onda media positiva (Figura 2C).

Dominio de hiperextensión y exhumación de manto litosférico

La deformación de toda la corteza continental es frágil (Moho a menos de 10 km de profundidad), las estructuras penetran hasta el manto litosférico continental y lo exhuman, bajo un régimen de cizalla simple (Sutra *et al.*, 2013). Comienza la alteración hidrotermal del manto litosférico, dando lugar a un basamento anormalmente delgado, de alta densidad, sin reflexiones claras de la Moho en los perfiles sísmicos disponibles, y de afinidad continental (Manatschal, 2004). Con el progreso de la deformación, el manto alterado queda expuesto en algunos lugares, en contacto directo con la cobertera sedimentaria o aflorando en el fondo oceánico, y sobre él quedan algunos bloques de corteza continental aislados como alóctonos extensionales (Sutra *et al.*, 2013). Dentro de este dominio aparecen incluidas las crestas de peridotitas, localizadas hacia el extremo distal, y que

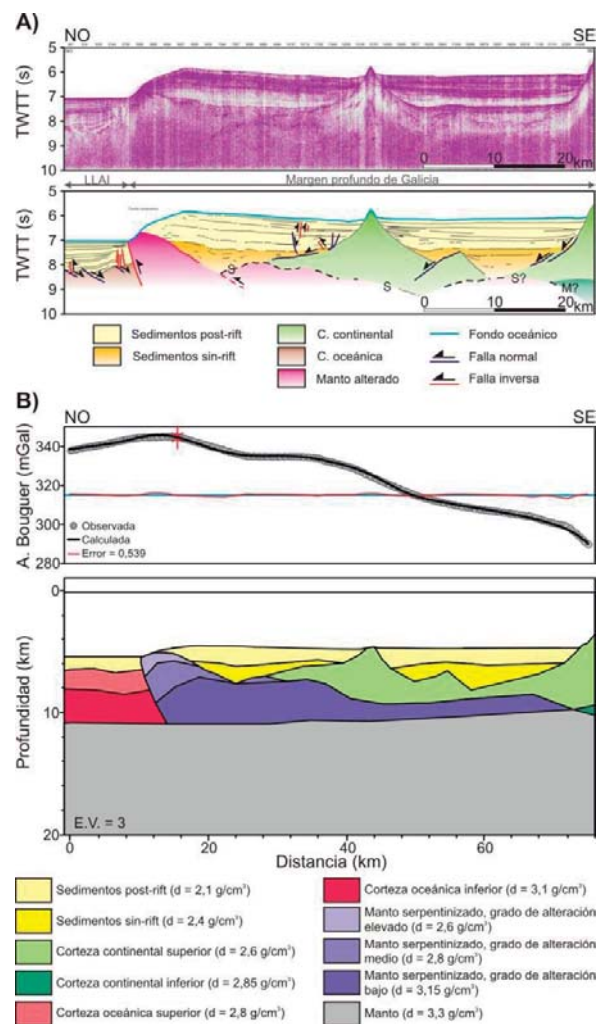


FIGURA 2. Perfil sísmico multicanal ERGAP-B26, con su interpretación en la parte inferior (A), y modelo gravimétrico coincidente con dicho perfil sísmico (B). Localización en Figura 1A.

podrían estar relacionadas con magmatismo intenso episódico, previo al comienzo de la deriva continental (Bronner *et al.*, 2011). Esta región se relaciona con una AB positiva de longitud de onda media (Figura 2C), debida en parte a la elevada densidad de este basamento peridotítico, y en parte también al ascenso del manto astenosférico por debajo del mismo. Al oeste de la región de bancos submarinos, este dominio se va estrechando de sur a norte, hasta desaparecer al norte de la latitud 43° N.

Dominio de deformación compresiva intensa

Se han considerado como tal las regiones del margen continental en las que hemos encontrado estructuras inversas de primer orden y evidencias de un proceso de inversión tectónica de gran magnitud. Este dominio estructural se localiza en el margen norte y noroeste de Galicia, continuando por el borde norte de la región de bancos submarinos y terminando al oeste de la misma, en el borde occidental del talud inferior compresivo.

CONCLUSIONES

Se ha realizado una cartografía de los dominios litosféricos y de deformación en el margen noroeste de la Península Ibérica que completa las presentadas anteriormente por otros autores en el margen oeste (Peron-Pinvidic et al., 2013) y el norte (Tugend et al., 2015). Este trabajo supone una mejora considerable en el estado del conocimiento de este margen continental, y sobre todo de la transición entre el margen occidental y el margen norte de la Península Ibérica.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración de los comandantes y la tripulación del BIO Hespérides durante las campañas de la ZEE, así como el apoyo técnico que ofrece la UTM durante las mismas.

REFERENCIAS

- Bronner, A., Sauter, D., Manatschal, G., Peron-Pinvidic, G. y Munsch, M. (2011): Magmatic breakup as an explanation for magnetic anomalies at magma-poor rifted margins. *Nature Geoscience*, 4. DOI: 10.1038/NGEO1201.
- Druet, M. (2015): *Geodinámica del margen continental de Galicia: Estructura profunda y morfotectónica*. Tesis doctoral, U. Complutense de Madrid. 235 p.
- Jansa, L.F., Comas, M.C., Sarti, M. y Haggerty, J.A. (1988): Late Jurassic carbonate platform of the Galicia Bank. En: *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Initial Reports (Part B)*, 103: 171-192.
- Manatschal, G. (2004): New models for evolution of magma poor rifted margins based on a review of data and concepts from the West Iberia and the Alps. *International Journal of Earth Sciences*. DOI: 10.1007/00531-004-0394-7.
- Murillas, J., Mougenot, D., Boillot, G., Comas, M.C., Banda, E. y Mauffret, A. (1990): Structure and evolution of the Galicia Interior Basin (Atlantic western Iberian continental margin). *Tectonophysics*, 184: 297-319.
- Perez-Gussinyé, M., Ranero, C.R. y Reston, T.J. (2003): Mechanisms of extension at nonvolcanic margins: Evidence from the Galicia interior basin, west of Iberia. *Journal of Geophysical Research*, 108 (B5). DOI: 10.1029/2001JB000901.
- Peron-Pinvidic, G., Manatschal, G., y Osmundsen, P.T. (2013): Structural comparison of archetypal Atlantic rifted margins: A review of observations and concepts. *Marine and Petroleum Geology*, 43: pp. 21-47, DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2013.02.002.
- Sutra, E., Manatschal, G., Mohn, G. y Unternehr, P. (2013): Quantification and restoration of extensional deformation along the Western Iberia and Newfoundland rifted margins. *Geochemistry, Geophysics and Geosystems*, 14 (8). DOI: 10.1002/ggge.20135.

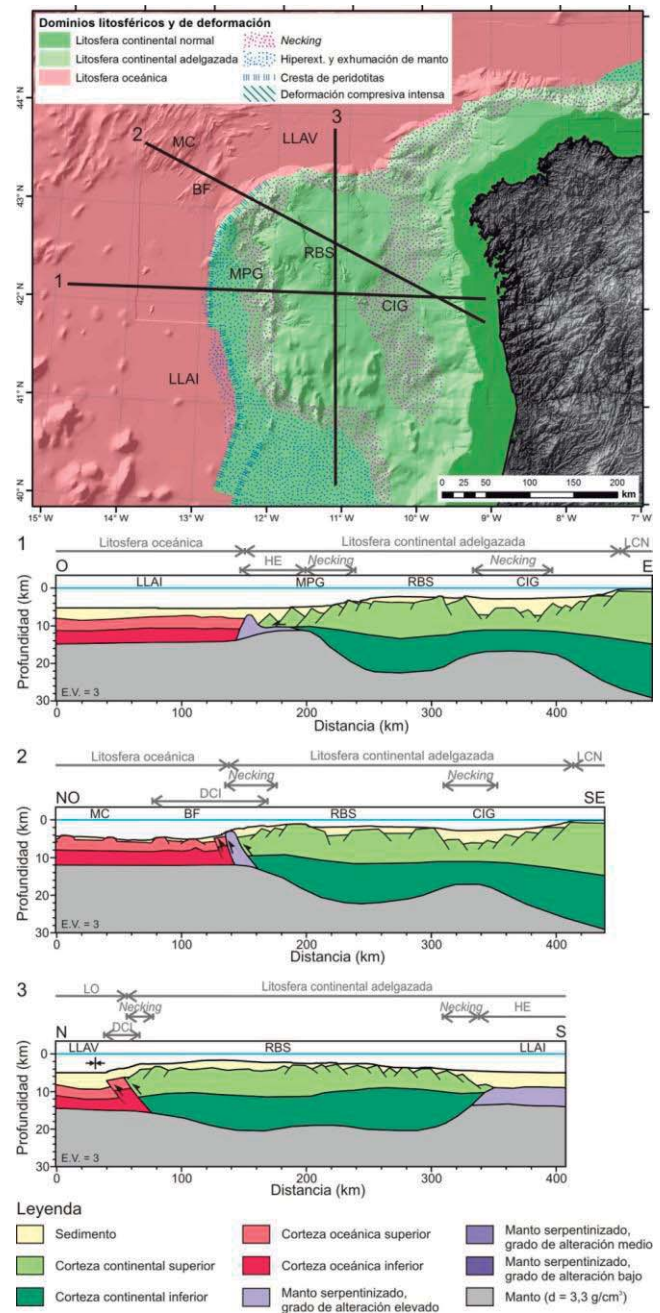


FIGURA 3. Mapa de dominios litosféricos y estructurales en el margen continental de Galicia (codificados en color), sobre modelo de sombras del MDE. 1-3: Cortes sintéticos transversales a los diferentes dominios del margen continental. LCN, litosfera continental normal. HE, zona de hiperextensión y exhumación. DCI, zona de deformación compresiva intensa. LO, litosfera oceánica.

Reguzzioni, M. y Sampietro, D. (2015): An Earth crustal model based on GOCE satellite data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 35: 31-43.

Tugend, J., Manatschal, G. y Kusznir, N.J. (2015): Spatial and temporal evolution of hyperextended rift systems: Implication for the nature, kinematics, and timing of the Iberian-European plate boundary, *Geology*, 43 (1): 15-18 DOI: 10.1130/G36072.1.